

高校生物における「DNA 研究の歴史」の仮想実験教材の開発と活用

久川 浩太郎

高等学校で学習する生物の中には、グリフィスの実験やハーシーとチェイスの実験など、過去に行われてきた遺伝子や DNA に関する実験が紹介されている。それらの実験は細菌や放射性物質を使用する実験であるため、授業で実施することは困難であり、実験の紹介のみで知識伝達型の授業で終わってしまうことが多い。そこで、高等学校の生物で学習する「DNA 研究の歴史」に記載されている実験について、タブレット端末を使用して仮想的に体験することで、課題解決型の授業が行えるような教材を開発し、授業で活用した。その結果、生徒の興味関心を高めたり、学習内容の理解や定着につながったりした。

キー・ワード：DNA の歴史 仮想実験 PowerPoint タブレット端末

1 はじめに

聴覚障害者である生徒に対する指導に関して、現行の高等学校学習指導要領（文部科学省，2009a）では、「視覚的に情報を獲得しやすい教材・教具やその活用方法等を工夫するとともに、コンピュータ等の情報機器などを有効に活用し、指導の効果を高めるようにすること。」と示されており、日々の授業においてデジタル教材などの視覚的な教材の工夫やパソコンやタブレット端末などの情報機器の活用が求められている。

理科教育では、自然の事物・現象を理解させ、考察・探究する力を養っていくための体験的な活動を充実させることが重要である。しかしながら、高等学校で学習するすべての内容について観察や実験などの取り組みを行うことは困難である。それを補うために、デジタル教材を活用することで、教科書や図説だけではつかみきれない抽象的な思考や理解を深めることができる。効果的なデジタル教材の活用は、学習内容に対しての興味関心を高めるだけではなく、観察や実験結果の理解を促したり、学習の定着を促進させたり、授業の効率化につながったりすることが示唆されている（田辺,2009）。

聴覚特別支援学校の理科の授業では、ワークシートや板書の工夫、拡大提示などの提示方法の工夫、デジタル教材や自作教材の活用など、視覚的教材・

教具を多く使用している（長島，2012）。デジタル教材が多く集められたウェブサイトには「理科ねっとわーく」があり、非営利・教育目的の利用に対しては、ユーザー登録を行うことで約4万点あるデジタル教材を無償で利用できる。また、無償利用、自由な加工・改変が可能で、45000人以上の教員の授業で活用されており、教材の効果的な活用方法について検証が行われている（門脇ら，2006）。しかしながら「理科ねっとわーく」は、2016年にシステムの提供を終了しており、他のデジタル教材の使用や自作教材の作成が求められている。

インターネット上には多くのデジタル教材があるが、その中には、学習内容の難易度と合わない、学習事項ではない映像や文字情報などの不必要な情報が含まれる、教科書の図と対応しておらず生徒に混乱が生じる恐れがある、などの理由から活用しにくいものもある。インターネット上を含めて適切なデジタル教材がない場合に、生徒の実態に合った教材を分析し、実験手順や実験結果、授業方法などに応じたデジタル教材の開発も行われている（高木ら2007）。免疫細胞の働きをアニメーションで表した試みでは、教科書に記載されている体液性免疫や細胞性免疫の図をアニメーションで表すことにより、生徒の興味・関心、理解が向上したことが示唆された（久川,2016）。また、理科学習用アニメーション

作成支援ソフトウェア「Galop」を用いて、「水の三態変化」に関するアニメーションを作成した実践事例も報告されており、指導者の意図した教材を作ることで、アニメーション教材が「思考ツール」として有効に作用することが示唆されている（佐野ら 2010）。しかしながら、それらの教材はスクリーンに提示するものであるため、生徒自身が操作できなかったり、個々の学習ペースに合わせたものではなかったりなどの課題が残っている。

2 目的

現行の高等学校学習指導要領（文部科学省，2009b）では、生物基礎の目標として、「日常生活や社会との関連を図りながら生物や生物現象への関心を高め、目的意識をもって観察、実験などを行い、生物学的に探究する能力と態度を育てるとともに、生物学の基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な見方や考え方を養う。」と、記述されており、日々の授業において、目標を達成するためには観察・実験は不可欠である。

「DNA 研究の歴史」の単元では、グリフィスの実験やハーシーとチェイスの実験など、過去に行われてきた遺伝子や DNA に関する実験が紹介されている。しかしながら、細菌や放射性物質を使用する実験であるため、授業で実施することは困難であり、実験の紹介のみで知識伝達型の授業で終わってしまうことが多い。高等学校でこれまで開発されてきた教材は、高度の実験技術が要求されたり、入手や取り扱いが困難な実験材料を確保しなければならなかったりと、一部の学校のみで実施できるものであった。困難な実験を、タブレット端末を使用して仮想的に実験できるようにすることで、多くの学校で容易に実施できるようになると考えられる。また、タブレット端末を利用することで、予習復習や反復学習も容易となり、さらに生徒自身の学習ペースに合わせた適応型学習ソフトとして活用することで、学習内容の定着を図ることも可能であると考えられる。そこで、「DNA 研究の歴史」に記載されている実験について、タブレット端末を使用して

仮想的に体験できる教材を開発した。

3 仮想実験教材の開発

(1) 単元

高等部 1 年生で履修する生物基礎の「DNA 研究の歴史」に記載されている、①グリフィスの実験（肺炎双球菌とネズミを用いた実験）、②エイブリーらの実験（肺炎双球菌の抽出液と分解酵素を用いた実験）、③ハーシーとチェイスの実験（バクテリオファージと放射性同位体を用いた実験）の 3 つの実験教材を作成した。さらに補助教材として、肺炎双球菌と白血球の関係に関するアニメーション、大腸菌内でのファージの増殖の様子を示したアニメーションを作成した。

(2) 教材の概要

教材は Microsoft PowerPoint 2016（以下、PowerPoint）を使用して開発し、授業中にスクリーンで提示できるようにするとともに、タブレット端末でも操作できるようにした。タブレット端末は Apple 社の iPad Air（Wifi モデル）を使用した。

PowerPoint のハイパーリンク機能を使用し、スライドの内のイラストをタブレット端末上でタップすることで、ドキュメント内の指定スライドに移動できるようにした（図 1）。誤った選択をした場合は、確認するスライドへ移動するように設定した。各実験の最後には、実験結果や考察をワークシートに書き込むよう指示するスライドを用意し、自分の考えを整理できるようにした（図 2）。また、全ての実験の最初のスライドには実験者のイラストを入れ、生徒が実験に対して興味や関心が高まるようにした（図 3）。

肺炎双球菌と白血球の関係やバクテリオファージの増殖などの補足説明はアニメーションを用いて説明し、実験の理解が深まるようにした。久川（2016）と同様の方法で、PowerPoint の 1 スライドあたりがアニメーションの 1 コマ分となるよう描画機能でスライドを作成した。スライドごとにイラストの位置を少しずつ変え、すべてのスライドを自動的に切

り替わるように設定した。スライドの切り替えは、画面切り替えのタイミングを全てのスライドで「自動的に切り替え」にし、1.0秒に設定した。



図1 実験画面のスライドの例

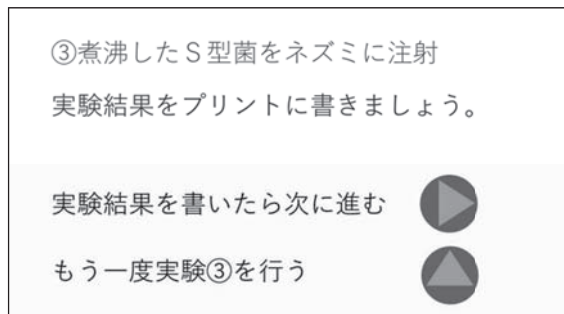


図2 実験の最後のスライドの例

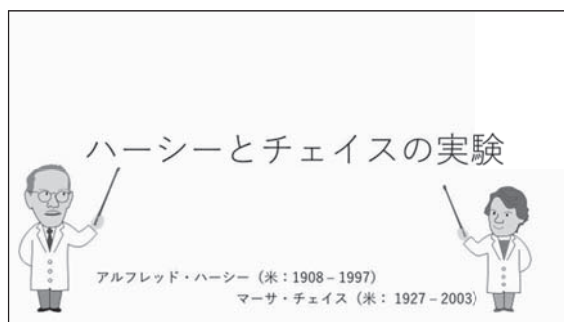


図3 実験の最初のスライドの例

① グリフィスの実験

グリフィスの実験は、病原性で莢膜がある肺炎双球菌（S型菌）と非病原性で莢膜がない肺炎双球菌（R型菌）を用いた実験である。グリフィスは、煮沸して病原性を失ったS型菌とR型菌を同時にネズミに注射したところ、R型菌が形質転換をし、S型菌に変化したことを示し、R型菌にS型菌の遺伝子が伝わったと考えた。

仮想実験教材では、注射の様子を、アニメーショ

ンを用いて表したり、注射後のネズミの変化を示すスライド（図4）を入れたり、ガスバーナーを用いてS型菌を煮沸するスライド（図5）を入れたりすることで、肺炎双球菌への操作やネズミの変化が視覚的に分かりやすい仮想実験を行えるようにした。また、形質転換後のS型菌を培養したスライド（図6）を入れることで、教科書では文章しか示されていない実験を、視覚的に理解できるようにした。



図4 注射後のネズミの変化



図5 肺炎双球菌への操作

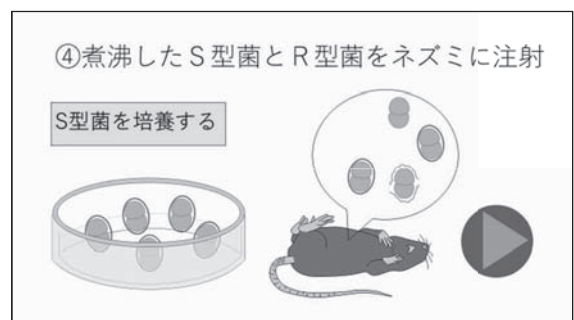


図6 形質転換後のS型菌の培養

② エイブリーらの実験

エイブリーらの実験は、肺炎双球菌（S型菌）の抽出液と分解酵素を用いて、遺伝物質がタンパク質ではなくDNAであることを証明した実験である。

遺伝物質が DNA であるという本質を示す重要な実験であるが、教科書の文章や図では S 型菌の抽出物や分解酵素が視覚的に示されておらず、実験結果と考察が結びつきにくい実験であった。

仮想実験教材では、抽出液の作成の様子や抽出液に含まれている物質を示すことにより、実験の流れの理解が深まるようにした（図 7）。また、分解酵素を使用することで、どの物質の働きが失われるのかを明確に示し（図 8）、実験結果と考察が結びつきやすいようにした。これらは教科書の文章中には示されているが、図には示されていないものであり、実験の流れを視覚的に順序立てて示すことで、生徒の思考が混乱しないように留意した。

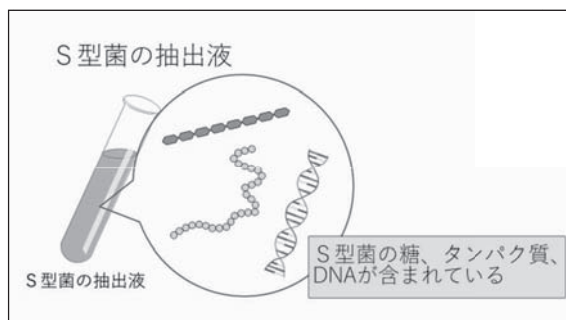


図 7 抽出液に含まれている物質の様子

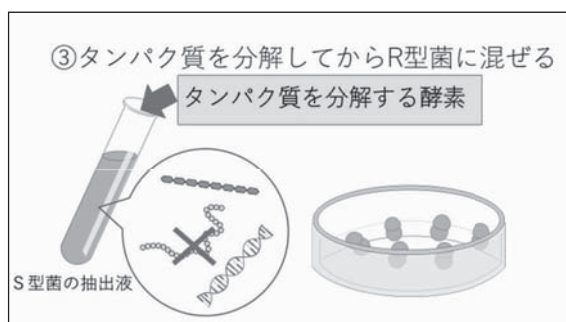


図 8 分解酵素により働きが失われた物質

③ ハーシーとチェイスの実験

ハーシーとチェイスの実験はバクテリオファージに放射性同位体を用いて識別できるようにし、タンパク質と DNA のどちらが大腸菌に注入したのかを調べる実験である。放射性同位体の記述は教科書の文章中にはないが、化学基礎の既習事項であるため、復習できるスライドを作成した（図 9）。

実験の中に、遠心分離機を用いてバクテリオファージのタンパク質の殻と大腸菌を分離する過程がある。遠心分離は遠心分離機が作動している様子を視覚的に捉えると分かりやすいため、PowerPoint のアニメーションにある「ターン」を使用して遠心分離の様子を表現した。

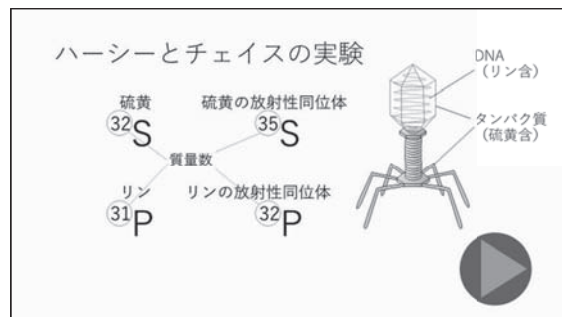


図 9 放射性同位体のスライド

④ 補助教材

補助教材として、肺炎双球菌と白血球の関係に関するアニメーション（図 10）、大腸菌内でのファージの増殖の様子を示したアニメーション（図 11）を作成した。

教科書には肺炎病原菌と病原性との関係の理由が記載されていない。そこで、S 型菌に病原性があり、R 型菌に病原性がない理由を、白血球の食作用によるものであることを、アニメーションを用いて示した。白血球の食作用については未習事項であるが、S 型菌には莢膜があるために白血球に分解されず、病原性が失われないことが読み取れるアニメーションを作成した。S 型菌と R 型菌の病原性の違いを視覚的に明確にすることで、その後のグリフィスの仮想実験が円滑に進むと考えられた。

大腸菌内でのファージの増殖の様子を示したアニメーションは、教科書の図を基に作成した。教科書には対応する図ごとに説明が記載されているが、アニメーションでは説明を記載しなかった。実際に観察することは困難である大腸菌内でのファージの増殖の様子を、アニメーションを用いることで、生徒自身が読み取れるようにした。



図10 肺炎双球菌と白血球の関係



図11 大腸菌内でのファージの増殖の様子

4 仮想実験教材の活用

平成28年度の高等部普通科1年生24名を対象に、必修である生物基礎の授業で開発した教材を用いて、次のような手順で2時間の授業を行った。授業は習熟度別グループごとに分かれており、上位グループ11名、中位グループ10名、下位グループ3名であった。

(1) 1時間目

① 教材の配布

対象授業前の休み時間に「グリフィスの実験」の仮想実験教材を配布した。タブレット端末の共有の機能を使用して、PowerPointのファイルを生徒全員のタブレット端末に送信した。

② 導入

DNA研究の歴史や研究の目的について説明した。現在では遺伝子がDNAに含まれていることは当たり前のように考えられている。しかし、DNAの働きが解明されるまでは、タンパク質に遺伝子が含まれていると考えられていたことを強調し、DNA研究の目的を明確にした。

DNA研究の目的の説明後、「肺炎双球菌と白血球の関係に関するアニメーション」を提示し、S型菌に病原性があり、肺炎双球菌のR型に病原性がない理由を考えさせた。

③ 展開

ワークシート①(図12)を配布し、教材の使用方法を説明した後、生徒は仮想実験に取り組んだ(図13)。実験の結果や考察は、それぞれの生徒のペースでワークシートに書き込んだ。早く終わってしまった生徒には、再度仮想実験に取り組ませ、他に考えられる考察を書くように促した。

全員の生徒が仮想実験に取り組んだ後、結果や考察を確認した。その際、生徒が書いたワークシートを実物投影機で投影することにより、生徒の意見を全員で共有できるようにした。

型	菌の形状	結果	考察	検出物
S型菌		あり	Smooth	なめらか
R型菌		なし	Rough	ざらざら

①S型菌をネズミに注射
②R型菌をネズミに注射
③S型菌とR型菌をネズミに注射
④S型菌とR型菌をネズミに注射

結果
グリフィスがやった①～④の実験の結果からわかることは何ですか?

図12 ワークシート①



図13 仮想実験に取り組んでいる様子

④ まとめ

ワークシート②を配布し、グリフィスの実験のまとめを行い、この実験が次に取り組むエイブリーらの実験と関係があることを説明した。最後に「エイブリーらの実験」の仮想実験教材を生徒のタブレット端末に送信し、課題として次の授業までに取り組むように指示した。

(2) 2 時間目

① 導入

課題として生徒が取り組んできた、エイブリーらの実験の結果や考察を確認した。1 時間目と同じように、生徒が書いたワークシートを実物投影機で投影することにより、生徒の意見を全員で共有できるようにした。この実験で、遺伝物質が DNA であることを証明できたが、それが認められるまで長い時間がかかったことを説明した。

② 展開

ハーシーとチェイスの実験の目的や内容について説明した後、「大腸菌内でのファージの増殖の様子を示したアニメーション」の PowerPoint のファイルを、生徒全員のタブレット端末に送信した。ワークシート③も配布し、大腸菌の増殖の様子を記入するように指示した。

③ まとめ

大腸菌内でのファージの増殖の様子を確認し、この実験で遺伝子の本体が DNA であることが明らかになったことを説明した。その後、上位グループには生徒一人一人に「ハーシーとチェイスの実験」の仮想実験教材に取り組ませた。中位グループは生徒に取り組ませず、スクリーンに提示し、全員で確認しながら授業を進めた。下位グループでは「ハーシーとチェイスの実験」の仮想実験教材は授業で扱わず、実験の内容の説明に留まった。

5 結果と考察

(1) ワークシートの記述

1 時間目終了後、「エイブリーらの実験」の仮想実験教材を生徒のタブレット端末に送信し、課題として次の授業までに取り組むように指示した。ワークシートを回収し、課題として取り組んだ箇所の記述を確認したところ、全ての生徒が実験内容や考察を正確に理解できたと考えられる。

エイブリーらの実験の考察に書かれていた代表的な記述を挙げる。

- ・抽出液に含まれる DNA 以外の物質を分解したときは形質転換が起きた。しかし、抽出液に含まれる DNA を分解したときのみ、形質転換は起きなかった。よって、形質転換には DNA が必要であると考えられる。
- ・DNA が働いているときのみ形質転換が起きたことから、遺伝子は DNA に含まれていることがわかった。
- ・糖、タンパク質、DNA の中で、遺伝子が含まれているのは DNA のみであることがわかった。
- ・遺伝物質がタンパク質であるという考えは間違っていることがわかった。

(2) 評価問題

2 回の授業の理解度を把握するために、評価問題を行った。評価問題は 3 問で、センター試験の該当問題を、やや難しいものに変えたものであった。①肺炎双球菌が S 型菌から R 型菌に変化したことを問う問題、②形質転換を答えさせる問題、③ハーシーとチェイスの実験の結果、遺伝物質がタンパク質ではなかったことを問う問題の 3 問を出題した。

評価問題を実施した結果、24 名中 23 名が全問正解であった。中位グループの 1 名が①の問題のみ不正解であった。下位グループの生徒も全問正解であったことから、仮想実験教材を用いた授業が理解できていると考えられる。また、1 時間目と 2 時間目は 1 週間程度時間差があったことから、1 時間目に学習した内容が定着したと考えられる。

(3) 質問紙調査

2回の授業実施後、選択式の質問紙調査を行った。質問は10項目で、それぞれの質問項目について、「とてもそう思う＝(5点)」から「全くそう思わない(1点)」までの5件法で回答を求め、集計結果の平均値を降順で並べた(表1)。それらの特徴をまとめると、タブレット端末を使用して操作する仮想実験教材を用いたことで、授業内容が理解しやすく意欲的に取り組めたこと、今回のようなタブレット端末を使用した教材は使ったことがなくても、仮想実験教材は分かりやすかったことが明らかになった。また、今後も仮想実験教材を使ってみたいと考える生徒や、繰り返し見られる利点があると答える生徒が多かった。特に、下位グループでは、繰り返し仮想実験を行う様子が見られ、理解に時間がかかる生徒においては特に有用であると考えられる。

質問紙調査では、選択式の質問の他に自由記述も行った。質問項目は、①仮想実験を用いた感想、②最も印象に残った仮想実験教材であった。

① 仮想実験を用いた感想

多くの生徒が、自分のペースで進めることや何回も見直すことができることが良かったと述べている。また、教科書の文章や図ではなく、実際の実験のように、動きを観察できることが良かった述べる生徒も多かった。これらのことから、仮想実験教材が生徒自身の学習ペースに合わせた適応型学習ソフトと

して活用することができたと考えられる。

仮想実験を用いた感想に書かれていた代表的な記述を挙げる。

- ・自分のペースで進めることや何回も見直すことができよかった。
- ・実験の様子が絵や図の動きで表現されていてわかりやすく、すぐに理解することができた。
- ・実際にDNAを用いた実験をするのは難しいと思うが、タブレット端末を使ったことで、スムーズに実験内容、結果を理解することができた。
- ・教科書の図では何から見ればよいかわからず、混乱することがあるが、この教材では実験の流れで見えていけるのでわかりやすかった。

② 最も印象に残った仮想実験教材

最も印象に残った仮想実験教材の回答は、「グリフィスの実験」が12名、「エイブリーらの実験」が3名、「大腸菌内でのファージの増殖の様子を示したアニメーション」が9名であった。「グリフィスの実験」では、予想と違う結果で驚いたと答える生徒が多かった。「大腸菌内でのファージの増殖の様子を示したアニメーション」では、ファージの増殖がアニメーションで表現されており、流れをつかむことができてわかりやすかったと答える生徒が多かった。これらのことから、タブレット端末を用いた仮想実験でも、予想、結果、考察といった、本来の実験と同じような流れで実施することが明ら

表1 質問紙調査の結果

質問項目 (平均値の降順)	平均値
仮想実験教材を用いたことで、授業内容が理解しやすかった。	4.79
仮想実験教材を用いたことで、授業に意欲的に取り組むことができた。	4.75
仮想実験教材は分かりやすかった。	4.67
これからも今回のような仮想実験教材を使ってみたい。	4.63
タブレット端末を使用して操作する仮想実験教材は、繰り返し見られるのがよかった。	4.50
タブレット端末を使用して操作する仮想実験教材を用いたことで、自分の考えが整理しやすかった。	4.46
タブレット端末を使用して操作する仮想実験教材は、自分のペースで進められるのが良かった。	4.33
自宅や休み時間など、授業時間以外でもタブレット端末を使用して操作する仮想実験教材を使いたい。	4.29
仮想実験教材を用いたことで、DNAの研究の実験に興味をもった。	3.79
これまでに今回のようなタブレット端末を使用して操作する教材を使ったことがある。	3.71

かになった。また、教科書の図をアニメーションにすることにより、教科書の図だけでは捉えきれない現象を一連の流れとして捉えることができると考えられる。

最も印象に残った仮想実験教材に書かれていた代表的な記述を挙げる。

- ・グリフィスの実験は、R 型菌が S 型菌に形質転換する過程がわかりやすく、実験前と実験後の違いが明確にわかったのが良かった。
- ・グリフィスの実験は、ネズミの生死が予想していたことと違った実験があり、大変驚いた。
- ・エイブリーらの実験は、糖、タンパク質、DNA のいずれかに遺伝子が含まれていて、それを実験によって少しずつ解明されていく過程が科学者のようで楽しかった。
- ・ファージの増殖がアニメーションとなっており、わかりやすかった。

6 おわりに

本研究では、実際に体験することは困難な実験を、タブレット端末を用いて仮想的に体験する教材を開発した。通常の指導では、知識伝達型の授業で終わってしまうことが多い内容を、体験的操作によって生徒自らが実験結果を導くことができるとともに、科学的・論理的な見方や考え方を培うことができたと考えられた。また、評価問題や質問紙調査の結果から、仮想実験教材を使用することで、授業の興味・関心や理解が深まったり、授業内容の定着につながったりしたことが明らかとなった。

本教材はインターネット上にも公開した(図 14)。生徒の予習復習に使用できるだけでなく、全国の教員も使用できると考えられる。



図 14 インターネット上に公開した教材の画面

【参考文献】

- 門脇千里, 難波宏司, 岡田学, 田摩幸夫, 山田潔(2006) 理科教育におけるデジタル教材活用に関する研究, 兵庫県立教育研修所研究紀要, 116, 37-44.
- 久川浩太郎(2016) 免疫の学習におけるアニメーション教材の開発と活用. 筑波大学附属聴覚特別支援学校研究紀要, 38, 80-83.
- 文部科学省 (2009a) 『特別支援学校高等部学習指導要領』 高 14.
- 文部科学省 (2009b) 『高等学校学習指導要領』 58.
- 長島素子 (2012) 高等部理科の教科指導－視覚的教材・教具を用いた授業－. 聴覚障害, 67(6), 23-28.
- 佐野工(2010) 理科学習用アニメーション作成支援ソフトウェア「Galop」を活用した小学生による概念学習, 理科の教育, 59(10), 687-689.
- 高木衛, 辻下浩行, 越桐國雄(2007) 理科実験デジタル教材の開発, 大阪教育大学紀要 56(1), 27-39.
- 田辺久信(2009) 実験・観察融合型デジタル教材活用共同研究が示す理科授業改善の方向性～研究における効果測定の結果の考察より～. 大阪と科学教育, 23, 33-42.

【付記】

本研究は、平成 28 年 (2016 年) 10 月 13 日～14 日に開催された第 50 回全日本聾教育研究大会 (附属大会) において、筆者が第 4 分科会「学力と教科教育Ⅱ (理系)」で「高校生物における「DNA 研究の歴史」の仮想実験教材の開発」という演題で口頭発表を行ったものを、大幅に加筆・修正したものである。

本研究は、JSPS 科研費 16H00182 の助成を受けたものである。

【資料】

インターネット上に公開した教材の URL

<http://www.deaf-s.tsukuba.ac.jp/~kugawa-j/02/index.html>